

# 基于正交试验的汽车哈克钉铆套冲孔工艺优化及 模具磨损研究

朱倩倩<sup>1</sup>, 刘臣富<sup>2</sup>, 尤富仪<sup>1</sup>

(1. 江苏省连云港工贸高等职业技术学校 交通运输系, 江苏 连云港 222061;

2. 天津职业技术师范大学 汽车与交通学院, 天津 300222)

**摘要:** 为了解决哈克钉铆套冲孔工序中下冲棒磨损严重的问题, 基于 Deform-3D 仿真平台, 建立了铆套冲孔模型、材料断裂模型以及磨损模型。首先, 采用正交试验法, 以降低下冲棒磨损为主旨, 对关键冲孔参数及下冲棒尺寸进行了优化, 优化结果为: 上模冲孔速度为  $20 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , 下冲棒硬度为 65 HRC, 顶角为  $10^\circ$ , 下冲棒圆角半径为 0.6 mm。其次, 引入涂层技术, 研究了 TiN、TiCN 和 TiAlN 涂层对下冲棒的强化效果, 结果显示: TiAlN 涂层的抗磨损能力更强。最后, 通过连续模拟, 建立了下冲棒的寿命预测模型, 对优化后各下冲棒的寿命进行了预测, 并经实际冲孔试验进行了验证, 结果表明: 磨损严重部位与数值模拟结果一致, 各下冲棒实际寿命与预测结果极其接近, 误差均控制在 5% 以内, 验证了结果的正确性。采用 TiAlN 涂层的下冲棒寿命可从 17388 件增加至 39405 件, 有效地解决了铆套成形中冲孔工序模具寿命短的问题。

**关键词:** 哈克钉铆套; 冲棒磨损; 冲孔; 涂层; 模具寿命

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.11.009

**中图分类号:** TG386

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3940 (2022) 11-0062-08

## Research on punching process optimization and die wear for automobile Huck rivet sleeve based on orthogonal test

Zhu Qianqian<sup>1</sup>, Liu Chenfu<sup>2</sup>, You Fuyi<sup>1</sup>

(1. School of Transportation, Jiangsu Lianyungang Vocational and Technical College of Industry and Trade, Lianyungang 222061, China;

2. School of Automobile and Transportation, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of serious wear for lower punch in the punching process of Huck rivet sleeve, the punching model of rivet sleeve, material fracture model and wear model were established based on simulation platform Deform-3D. Firstly, the key punching parameters and the size of lower punch were optimized by using the orthogonal test method to reduce the lower punch wear, and the optimization results were obtained as the upper die punching speed of  $20 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , the lower punch hardness of 65 HRC, the top angle of  $10^\circ$ , and the lower punch fillet radius of 0.6 mm. Secondly, the strengthening effects of TiN, TiCN and TiAlN coatings to lower punch were studied by introducing coating technology. The results show that the wear resistance of TiAlN coating is stronger. Finally, through continuous simulation, the life prediction model of lower punch was established, and the life of each lower punch after optimization was predicted, which was verified by the actual punching test. The results show that the seriously worn parts are consistent with the numerical simulation results, the actual life of each lower punch is very close to the prediction results, and the error is controlled within 5%, which verifies the correctness of the result. In addition, with TiAlN coating, the life of lower punch can be increased from 17388 pieces to 39405 pieces, which effectively solves the problem of short die life in punching process during the riveting sleeve forming.

**Key words:** Huck rivet sleeve; punch wear; punching; coating; die life

自卸车车架通常采用铆钉和螺栓进行连接紧固, 但由于载重较大、路况不佳, 受振动、冲击较大等因素影响, 时常会出现铆钉断裂、螺栓松动等现象,

对行车安全造成影响。而哈克钉的出现解决了该难题, 哈克钉, 又名盲拉铆钉, 最初应用于航天航空件的紧固, 其结构由铆钉和铆套两部分组成, 如图 1a 所示。传统螺栓是通过扭力旋转提供紧固力实现防松, 而哈克钉的紧固原理不同<sup>[1-2]</sup>, 具体如图 1b 所示, 哈克钉插入连接孔后, 利用铆钉枪单向拉动铆钉, 铆钉头部挤压铆套尾部, 形成镦头, 同时铆

收稿日期: 2021-11-18; 修订日期: 2022-02-19

基金项目: 江苏省职业教育教学改革研究课题 (ZYB100)

作者简介: 朱倩倩 (1986-), 女, 学士, 讲师

E-mail: zhuqq3318@126.com

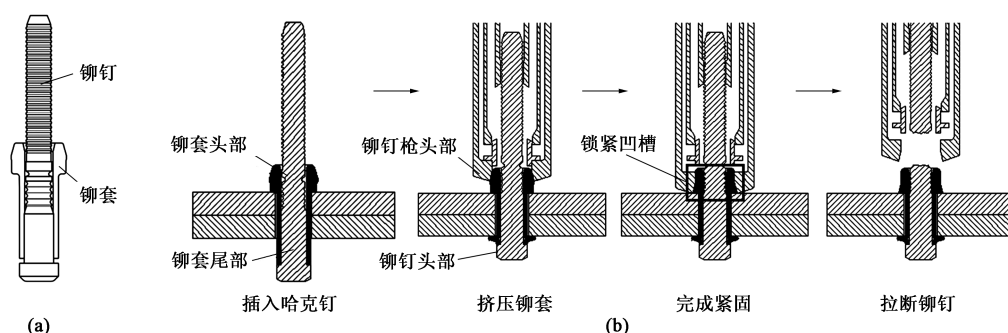


图 1 哈克钉结构 (a) 和紧固原理 (b)

Fig. 1 Structure (a) and fastening principle (b) of Huck rivet

钉枪头部挤压铆套头部，使其压紧铆钉锁紧凹槽，达到 100% 的配合，完成紧固后铆钉枪拉断铆钉完成铆接。哈克钉具有安装方便、速度快、夹紧力大、抗振能力强等优点，除汽车工程、航空航天领域外，在空调装置、桥梁建设、风力发电等领域的应用也越来越多，需求量极大，其中，铆钉通过冷搓成形<sup>[3]</sup>，而铆套作为组成部件之一，其传统的热锻工艺配合切削加工的生产方式所暴露的缺陷显然已无法满足质量要求及产量要求，因此，某汽车零部件生产厂家引进了国外更为先进的多工位冷锻加工技术<sup>[4]</sup>。但是，在实际冷锻生产中发现，在最后 1 道冲孔工序中，下冲棒的磨损非常严重，与其他工序模具相比，寿命较短，严重影响了生产效率，故迫切需要改进。

有限元技术近年来在工艺改进、缺陷预测、模具结构优化、模具磨损研究方面的作用逐渐得到认可，能够有效地提高研究效率，减少试模成本投入。Francy K A 等<sup>[5]</sup>利用 Deform-3D 软件和田口试验法对 16MnCr5 和 AISI1010 钢材料的关键挤压参数进行了优化，包括坯料形状、模口角度、摩擦因数、冲头速度等，有效地降低了挤压力。Rrjiev R 等<sup>[6]</sup>基于实际工业案例，对两种不同材料锻件的锻模磨损进行了研究，分析了滑移速度、接触压力、温度等对模具磨损的影响，并合理地预测了模腔各位置的磨损深度。梁强<sup>[7]</sup>针对活塞销锻挤折叠缺陷，经数值模拟及微观组织试验确定了折叠部位及其产生机理，并提出了改进方案，最终消除了折叠缺陷。因此，本文以有限元技术为支撑，对铆套的冲孔工序进行研究，结合正交试验，以降低磨损为主旨，对关键冲孔参数及下冲棒尺寸进行优化。其次，研究了不同种类、不同厚度涂层处理后下冲棒的抗磨损能力，并进行了下冲棒寿命的预测与实际试模。

## 1 工艺介绍

铆套材料为 SWRCH10A 钢，塑性较好，适合冷成形，铆套零件图如图 2 所示，零件复杂度一般，成形难点主要在零件头部和中间通孔，可分别通过镦粗聚料和反挤压成形。为合理控制材料的变形程度，头部成形采用预镦、终镦两道工序，同时由零件中间通孔的孔深与孔径的比值大于 2.5 可判定为深孔挤压<sup>[8]</sup>，必须通过两次反挤压成形，最终确定了图 3a 所示的 6 工序成形方案。棒料的下料尺寸为  $\Phi 12.5 \text{ mm} \times 29.4 \text{ mm}$ ，具体过程：工序 1，整形，整形后直径为  $\Phi 12.55 \text{ mm}$ ；工序 2，1 次反挤压，孔深为 20.5 mm；工序 3，2 次反挤压，孔深为 26.9 mm；工序 4，零件转向后对头部进行预镦聚料；工序 5，终镦聚料，头部成形；工序 6，反冲孔，去除中间连皮。该方案下的铆套各工序的实际成形情况如图 3b 所示，经检验，铆套的成形质量能够达到工艺要求。而该生产厂家在实际批量生产中发现，在冲孔工序中下冲棒的表面磨损极其严重，如图 4 所示。与其他工序模具相比，寿命较短，更换频率高，冲孔工序的模具结构简图如图 5a 所示。由于确定成形方案是可靠的，因此，仅对冲孔参数及磨损严重的下冲棒尺寸进行小幅改进，并基于 Deform-3D 进行研究。

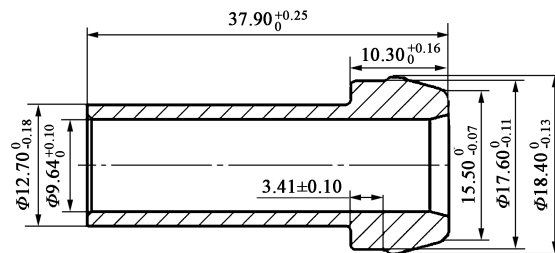


图 2 铆套零件图

Fig. 2 Part drawing of rivet sleeve

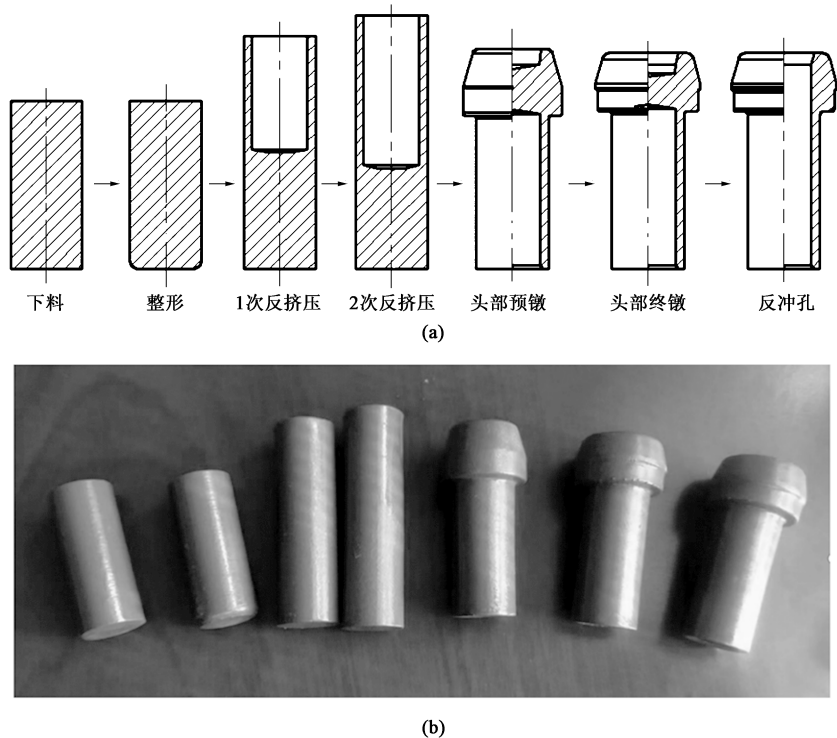


图 3 铆套成形工序

(a) 6 工序成形方案 (b) 铆套各工序成形实物图

Fig. 3 Forming process of rivet sleeve

(a) Six-process forming scheme (b) Forming physical drawing of rivet sleeve in each process

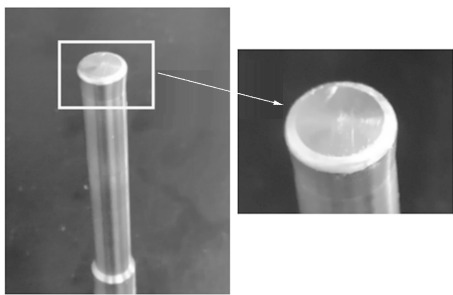


图 4 冲孔工序下冲棒磨损情况

Fig. 4 Wear condition of lower punch in punching process

## 2 建立数值模拟模型

将图 5 模具结构简化, 仅保留上模、工序 5 零件、下模、下冲棒 4 个组件, 经 Solidworks 完成建模及位置关系装配 (采用 1/8 模型), 并导入 Deform-3D 中。坯料为塑性体, 材料为 SWRCH10A 钢, 其余为刚体, 模具材料为 W6Mo5Cr4V2 钢, 其性能参数如表 1 所示。坯料划分网格数为 60000 个, 同时对中间需要切除连皮部位进行网格细化, 下冲棒划分网格数为 15000 个, 摩擦形式选择常剪切模型,

摩擦因数按实际条件设定为 0.12。下冲棒磨损模型采用 Archard 磨损模型<sup>[9]</sup>, 材料磨损系数设置为  $2 \times 10^{-8}$ 。简化后的冲孔工序有限元模型如图 5b 所示。

由于冲孔工序需要模拟冲断行为, 因此, 必须建立材料断裂模型, 采用 Normalized C & L 断裂准则<sup>[10]</sup>, 其数学模型如式 (1) 所示。

$$B = \int_{\bar{\epsilon}_f}^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad (1)$$

式中:  $B$  为断裂因数;  $\bar{\epsilon}_f$ 、 $\sigma^*$ 、 $\bar{\sigma}$  分别为材料断裂发生时的应变、最大主应力及等效应力;  $\bar{\epsilon}$  为真实等效应变。

SWRCH10A 钢的临界断裂因数为 0.44, 在冲孔模拟中设定一旦超过该值, 材料即产生断裂趋势。同时, 在 Fracture 选项中设定断裂单元为 4, 表示当断裂出现时系统划分网格后的坯料一旦连续 4 个单元出现断裂, 该处单元自动删除以直观体现断裂行为。

## 3 正交试验设计

### 3.1 正交试验方案设计

在前序零件形状不变的情况下, 影响下冲棒磨

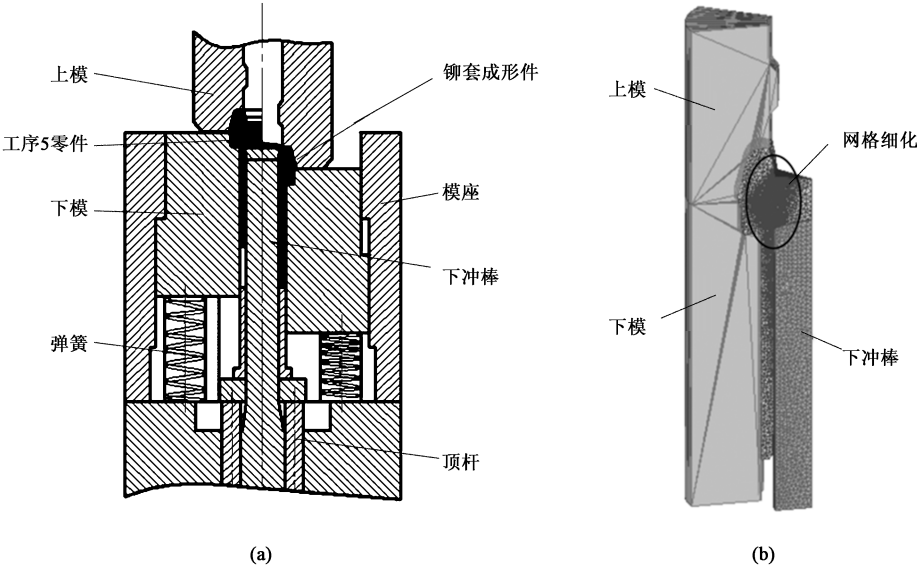


图 5 冲孔工序模型  
(a) 模具装配结构简图 (b) 有限元模型

Fig. 5 Punching process model

(a) Schematic diagram of die assembly structure (b) Finite element model

表 1 W6Mo5Cr4V2 高速钢的性能参数  
Table 1 Performance parameters of W6Mo5Cr4V2  
high speed steel

参数	密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	弹性模量/ GPa	比热容/ ( $\text{J} \cdot (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ )	导热系数/ ( $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ )
数值	8160	218	0.460	19

损的因素主要为坯料性能、润滑条件、上模冲孔速度、下冲棒尺寸参数、下冲棒硬度、模具导向精度，而坯料性能、现场润滑条件比较固定，因此，在不考虑模具导向精度的前提下，本文主要选取上模冲孔速度  $V$ 、下冲棒尺寸参数以及下冲棒硬度  $H$  进行优化。下冲棒结构简图如图 6 所示，其中，下冲棒头部和杆部设计  $3^\circ \sim 5^\circ$  的斜度，以降低下冲棒与金属间的摩擦，促进流动。对于主要影响参数顶角  $\theta$

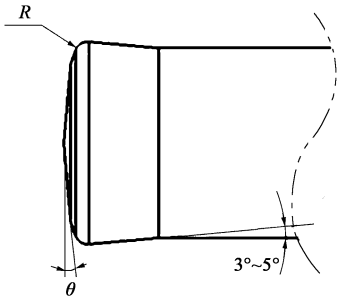


图 6 下冲棒结构简图

Fig. 6 Schematic diagram of lower punch structure

和下冲棒圆角半径  $R$ ，由于下冲棒直接与零件接触，因此，顶角  $\theta$  的变化会直接影响摩擦情况，而下冲棒圆角半径  $R$  选择过大，会加速材料的流动，加剧下冲棒磨损，同时会增大磨损面积，反之，阻力过大，会阻碍材料流动，同样会加剧下冲棒磨损。以上 4 个参数在合理范围内分别取 3 个水平，利用正交试验法设计了如表 2 所示的 9 组方案，并通过 Deform-3D 对每组方案分别进行建模计算，获取的下冲棒磨损结果见表 2。

表 2 正交试验方案及下冲棒磨损结果  
Table 2 Orthogonal test schemes and lower punch  
wear results

方案	上模冲孔 速度 $V$ / ( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	下冲棒 硬度 $H/\text{HRC}$	顶角 $\theta$ / ( $^\circ$ )	下冲棒圆角 半径 $R$ / mm	下冲棒最大 磨损深度/ ( $\times 10^{-6} \text{ mm}$ )
1	10	59	6	0.4	4.76
2	10	62	8	0.6	3.64
3	10	65	10	0.8	4.32
4	20	59	8	0.8	4.58
5	20	62	10	0.4	4.11
6	20	65	6	0.6	3.78
7	30	59	10	0.6	3.24
8	30	62	6	0.8	4.93
9	30	65	8	0.4	4.47

3.2 极差分析与参数优化

极差分析能够反映试验参数对下冲棒磨损的影

响大小，同时基于望小特性原则，根据每个参数在各水平上的磨损深度均值最小来确定最优水平值<sup>[11]</sup>。极差公式如式（2）所示。

$$D_x = \text{Max}(\frac{1}{3} \sum W_{xy}) - \text{Min}(\frac{1}{3} \sum W_{xy})$$

(*x*、*y* 为整数，*x* = 1 ~ 4，*y* = 1 ~ 3) （2）

式中：*x* 为参数个数；*y* 为参数对应的水平数；*W<sub>xy</sub>* 为表 2 中参数 *x* 的水平 *y* 对应的下冲棒最大磨损值；*D<sub>x</sub>* 为各参数对应的极差值。

将表 2 中的数据带入式（2）中计算获得的结果见表 3，其中，*D<sub>4</sub>*>*D<sub>3</sub>*>*D<sub>1</sub>*>*D<sub>2</sub>*（*D<sub>1</sub>*、*D<sub>2</sub>*、*D<sub>3</sub>*、*D<sub>4</sub>* 分别为上模冲孔速度、下冲棒硬度、顶角和下冲棒圆角半径对应的极差值），表明下冲棒圆角半径 *R* 对下冲棒磨损的影响最大，顶角 *θ* 次之，最后为上模冲孔速度 *V* 和下冲棒硬度 *H*，说明下冲棒结构对磨损的影响较大。另外，根据磨损深度均值最小可知，参数 *V*、*H*、*θ*、*R* 分别对应的为第 2 水平、第 3 水平、第 3 水平以及第 2 水平，因此，最优参数组为：上模冲孔速度为 20 mm·s<sup>-1</sup>、下冲棒硬度为 65 HRC、顶角为 10°、下冲棒圆角半径为 0.6 mm。依据此参数改进下冲棒结构，并导入 Deform-3D 中计算后获得优化后的磨损结果如图 7 所示，下冲棒圆角处磨损最大，磨损深度为 3.13×10<sup>-6</sup> mm，优于以上 9 组方案，下冲棒磨损情况得到改善。

表 3 磨损量极差计算结果

Table 3 Range calculation results of wear amount

试验参数	上模冲孔速度 <i>V</i> / (mm·s <sup>-1</sup> )	下冲棒硬度 <i>H</i> /HRC	顶角 <i>θ</i> / (°)	下冲棒圆角 半径 <i>R</i> /mm
	4. 240	4. 193	4. 490	4. 447
$\frac{1}{3} \sum W_{xy}$	4. 157	4. 227	4. 230	3. 553
	4. 213	4. 190	3. 890	4. 610
<i>D<sub>x</sub></i>	0. 083	0. 037	0. 600	1. 057

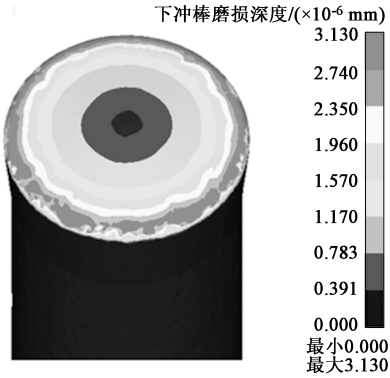


图 7 未涂层的下冲棒优化后的磨损结果

Fig. 7 Wear result of uncoated lower punch after optimization

4 下冲棒表面涂层强化研究与寿命预测

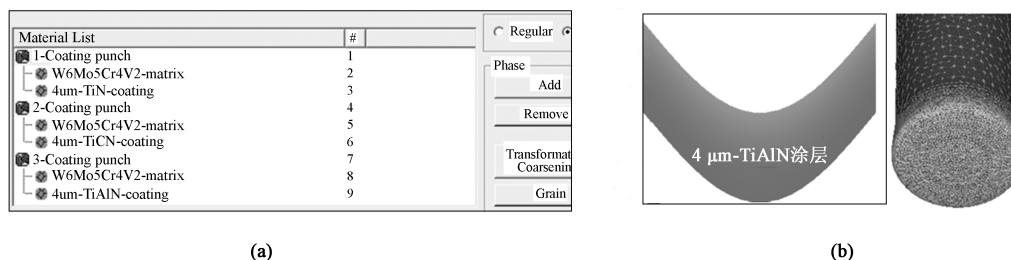
4.1 涂层建模与分析

随着涂层技术的成熟，涂层在模具、刀具等的应用越来越多，被证明能够显著降低磨损，提高寿命。因此，在上述优化后的下冲棒结构基础上，在表面分别涂覆厚度为 4 μm 的 TiN、TiCN 和 TiAlN 涂层材料进行磨损研究，在 Deform-3D 中建立“W6Mo5Cr4V2 钢基体+涂层”材料库，见图 8a，并以 TiAlN 涂层为例，建模结果如图 8b 所示。经 Deform-3D 计算，各下冲棒磨损结果如图 9 所示，磨损最大部位均在下冲棒圆角处，经涂层处理后的下冲棒单次磨损深度最大值分别为 2.67×10<sup>-7</sup>、2.94×10<sup>-7</sup> 和 1.98×10<sup>-7</sup> mm，与未涂层的下冲棒（图 7）相比得到极大改善，其中，TiAlN 涂层的抗磨损能力更强。以下通过建立寿命预测模型以及实际磨损试验来验证模拟的可靠性。

4.2 各下冲棒寿命预测及磨损验证

铆套实际冷锻生产中，冲孔工序是连续进行的，下冲棒的磨损是不断叠加的，因此，数值计算同样采用连续模拟以保证准确性，均保留前一次的模拟数据作为下一次模拟的初始数据，每种下冲棒均进行连续 10 次冲孔，单次磨损及总磨损结果如表 4 所示，根据各下冲棒随冲孔次数的变化散点图进行多项式拟合，最终获得的拟合曲线如图 10 所示。数学拟合模型分别见式（3）~式（6），其中 *W<sub>1</sub>*(*m*)、*W<sub>2</sub>*(*m*)、*W<sub>3</sub>*(*m*)、*W<sub>4</sub>*(*m*) 分别表示未涂层、TiN 涂层、TiCN 涂层以及 TiAlN 涂层的下冲棒第 *m* 次冲孔的磨损深度值。因此，经 *t* 次冲孔后的下冲棒总磨损深度值可用式（7）进行表示，其中，*W<sub>i</sub><sup>\*</sup>* 表示第 *i* 种（*i* = 1，2，3，4，分别为未涂层、TiN 涂层、TiCN 涂层以及 TiAlN 涂层）下冲棒的总磨损深度值，*t* 为冲孔次数。同时，可简化为式（8）所示的数学模型来描述冲孔次数与总磨损深度值的关系。

实际生产中，下冲棒表面磨损深度值超过 60 μm 后会出现点蚀导致磨损加剧<sup>[12]</sup>，引起铆套不良品率增长，下冲棒快速报废，因此，可根据式（8）预估未涂层下冲棒寿命为 18802 件。而涂层的下冲棒理论上可分为涂层磨损阶段和基体磨损阶段，根据涂层厚度为 4 μm，结合式（8）预估 TiN 涂层、TiCN 涂层以及 TiAlN 涂层的下冲棒在涂层磨损阶段的寿命分别为 33421 件、32033 件和 38477 件，总寿命分别为 33421 件、32033 件和 38477 件，与原下冲棒相比，寿命得到了极大提升。



(a)

(b)

图 8 涂层建模

(a) 涂层材料库 (b) 厚度为 4  $\mu\text{m}$  的 TiAlN 涂层模型

Fig. 8 Coating modeling

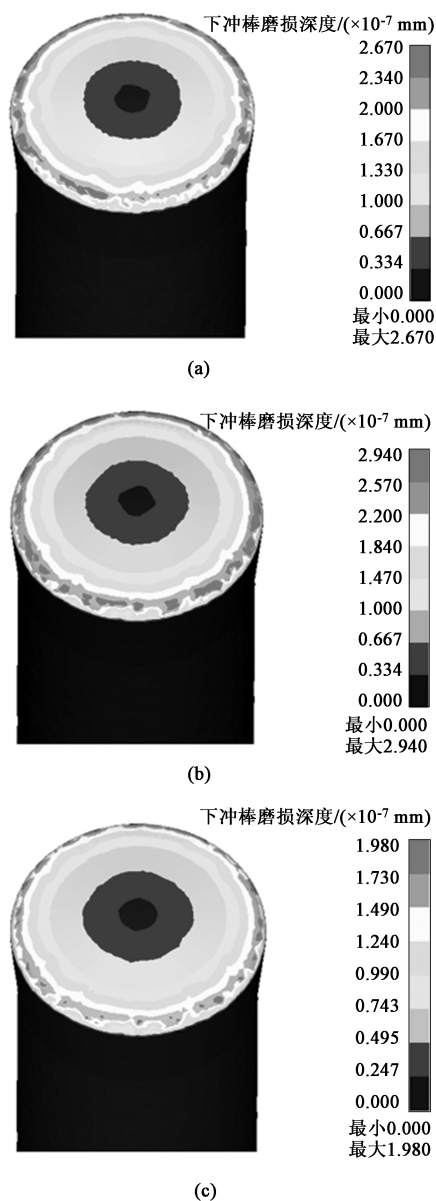
(a) Coating material library (b) Model for TiAlN coating with thickness of 4  $\mu\text{m}$ 

图 9 下冲棒磨损结果

(a) TiN 涂层 (b) TiCN 涂层 (c) TiAlN 涂层

Fig. 9 Wear results of lower punch

(a) TiN coating (b) TiCN coating (c) TiAlN coating

$$W_1(m) = 2.972 + 0.26883m - 0.13597m^2 + 0.03079m^3 - 0.00309m^4 + 0.00011m^5 \quad (3)$$

$$W_2(m) = 0.233267 + 0.055026m - 0.027191m^2 + 0.005964m^3 - 0.000586m^4 + 0.000021m^5 \quad (4)$$

$$W_3(m) = 0.265267 + 0.049487m - 0.026251m^2 + 0.006102m^3 - 0.000622m^4 + 0.000023m^5 \quad (5)$$

$$W_4(m) = 0.1862 + 0.019171m - 0.009748m^2 + 0.002334m^3 - 0.000253m^4 + 0.000010m^5 \quad (6)$$

$$W_i^* = \sum_{m=1}^i W_i(m) \quad (i \text{ 为整数}, i = 1 \sim 4) \quad (7)$$

$$W_i^* = t \cdot \frac{\sum_{m=1}^{10} W_i(m)}{10} \quad (i \text{ 为整数}, i = 1 \sim 4) \quad (8)$$

分别制备上述优化后的 4 种下冲棒进行冲孔试验,如图 11a 所示,4 种下冲棒实际磨损结果如图 11b 所示,下冲棒圆角处磨损最为严重,与模拟结果一致,各下冲棒磨损失效后统计数据见表 5,实际寿命分别为 19723 件、34235 件、32798 件和 39405 件,与模型预测结果极其接近,预测误差均在 5% 以内,验证了数值分析结果、优化结果以及寿命预测模型的正确性,采用 TiAlN 涂层能够最大化地提升下冲棒的寿命,有效地解决了铆套成形中冲孔工序模具寿命短的问题,极大地提升了企业的经济效益。

## 5 结论

(1) 基于 Deform-3D 仿真平台,建立了铆套冲孔模型、材料断裂模型以及磨损模型,并采用正交试验法,以降低下冲棒磨损为主旨,对关键冲孔参数及下冲棒尺寸进行了优化,优化结果为:上模冲孔速度为  $20 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、下冲棒硬度为 65 HRC、顶角为  $10^\circ$ 、下冲棒圆角半径为 0.6 mm。

表 4 不同下冲棒的磨损试验结果 ( $\times 10^{-6}$  mm)

Fig. 4 Wear experimental results of different lower punches ( $\times 10^{-6}$  mm)

下冲棒种类		冲孔次数									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
未涂层	单次磨损	3.13	3.18	3.14	3.17	3.22	3.18	3.22	3.25	3.19	3.23
	总磨损	3.13	6.31	9.45	12.62	15.84	19.02	22.24	25.49	28.68	31.91
TiN 涂层	单次磨损	0.267	0.271	0.277	0.269	0.272	0.278	0.283	0.271	0.275	0.273
	总磨损	0.267	0.538	0.815	1.084	1.356	1.634	1.917	2.188	2.463	2.736
TiCN 涂层	单次磨损	0.294	0.299	0.297	0.297	0.305	0.304	0.308	0.311	0.301	0.307
	总磨损	0.294	0.593	0.890	1.187	1.492	1.796	2.104	2.415	2.716	3.023
TiAlN 涂层	单次磨损	0.198	0.199	0.204	0.199	0.205	0.203	0.208	0.201	0.205	0.211
	总磨损	0.198	0.397	0.601	0.800	1.005	1.208	1.416	1.617	1.822	2.033

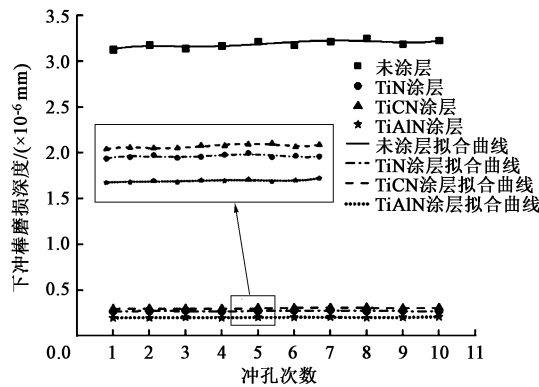
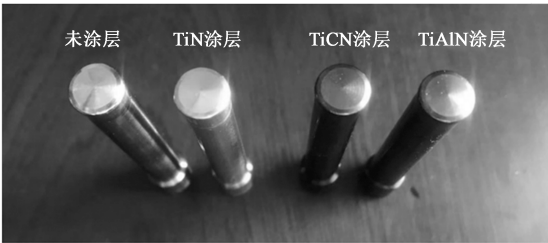
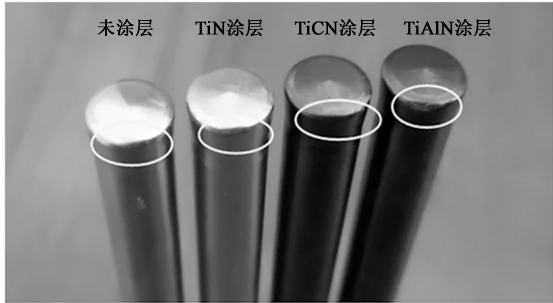


图 10 各类下冲棒磨损与冲孔次数的变化关系曲线  
Fig. 10 Relationship curves between wear of various lower punches and punching times



(a)



(b)

图 11 下冲棒的制备与试验  
(a) 4 种下冲棒实物图 (b) 下冲棒磨损结果  
Fig. 11 Preparation and test of lower punch  
(a) Physical drawing for four kinds of lower punch  
(b) Wear results of lower punch

表 5 下冲棒寿命统计表

Table 5 Statistical chart of lower punch life

下冲棒种类	预测寿命/件	实际寿命/件	模型预测误差/%
未涂层 (优化前)	—	17388	—
未涂层 (优化后)	18802	19723	4.90
TiN 涂层	33421	34235	2.44
TiCN 涂层	32033	32798	2.39
TiAlN 涂层	38477	39405	2.41

(2) 研究了 TiN、TiCN 和 TiAlN 涂层对下冲棒的强化效果, 其中, TiAlN 涂层的抗磨损能力更强。

(3) 建立了下冲棒的寿命预测模型, 对优化后各下冲棒的寿命进行了预测, 并经实际冲孔试验进行了验证。采用优化后的下冲棒, 寿命从 17388 件增加至 19723 件, 而采用涂层的下冲棒, 寿命分别增加至 34235 件 (TiN 涂层)、32798 件 (TiCN 涂层) 和 39405 件 (TiAlN 涂层)。

参考文献:

[1] Mariam M, Afendi M, Majid M S A, et al. Hydrothermal ageing effect on the mechanical behaviour and fatigue response of aluminium alloy/glass/epoxy hybrid composite single lap joints [J]. Composite Structures, 2019, 219 (7): 69-82.

[2] Slowinski K, Wuwer W. Blind-bolted shear connections for axially compressed RHS columns strengthened with open sections [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2016, 127 (12): 15-27.

[3] 吴艳云, 朱景秋, 吕雷雷, 等. 哈克抽芯铆钉杆冷搓成形工艺研究与优化 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (1): 85-90.

Wu Y Y, Zhu J Q, Lyu L L, et al. Research and optimization of cold rolling forming process of nail bar of Huck pull-core rivet

- [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (1): 85-90.
- [4] 陈剑, 张东民, 周伟民, 等. 球头销多工位冷镦挤工艺研究及模具设计 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (11): 153-156.
- Chen J, Zhang D M, Zhou W M, et al. Process research and die design of multi-station cold upsetting-extrusion of ball head pin [J]. Hot Working Technology, 2018, 47 (11): 153-156.
- [5] Francy K A, Rao C S, Gopalakrishnaiah P. Optimization of direct extrusion process parameter on 16MnCr5 and AISI1010 using DEFORM-3D [J]. Procedia Manufacturing, 2019, 30: 498-505.
- [6] Rjiev R, Sadagopan P, Shanmuga Prakash R. Study on investigation of hot forging die wear analysis-An industrial case study [J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 27 (3): 2752-2757.
- [7] 梁强. 活塞销冷镦挤成形微折叠缺陷分析及改进措施 [J]. 塑性工程学报, 2018, 25 (6): 99-104.
- Liang Q. Micro-folding defect analysis and improvement of cold upsetting-extruding process for piston-pin [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2018, 25 (6): 99-104.
- [8] 王培安, 吴淑芳, 郭欢欢. 前筒挤压成形方案分析与参数优化 [J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2019, 38 (3): 32-42.
- Wang P A, Wu S F, Guo H H. Analysis and parameter optimization of extrusion forming process of the front tube [J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2019, 38 (3): 32-42.
- [9] Aghababaei R, Zhao K. Micromechanics of material detachment during adhesive wear: A numerical assessment of Archard's wear model [J]. Wear, 2021, 476 (1-2): 203739.
- [10] 刘德政, 李炎, 王羽, 等. 韧性断裂阈值在冲压工艺分析中的应用研究 [J]. 制造业自动化, 2019, 41 (8): 24-28.
- Liu D Z, Li Y, Wang Y, et al. Research on critical value of ductile fracture for stamping process [J]. Manufacturing Automation, 2019, 41 (8): 24-28.
- [11] 张若楠, 韦朋余, 姜超文, 等. 基于虚拟正交试验的发动机冷却风扇设计参数优化 [J]. 机械设计与制造, 2021, (4): 188-194.
- Zhang R N, Wei P Y, Jiang C W, et al. Parameter optimization of cooling fan based on virtual orthogonal test [J]. Machinery Design & Manufacture, 2021, (4): 188-194.
- [12] 褚忠, 瞿伟, 刘铭心, 等. 冷挤压模具磨损优化设计 [J]. 铸造技术, 2017, 38 (12): 2895-2899.
- Chu Z, Qu W, Liu M X, et al. Optimum design of cold extrusion die wear [J]. Foundry Technology, 2017, 38 (12): 2895-2899.

欢迎关注“锻压技术杂志”微信公众号

@杂志动态 @行业信息 @企业宣传



• 锻造 • 冲压 • 钣金 • 模具 • 加热 • 标准化 •